

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-007001

(43)Date of publication of application : 10.01.1995

(51)Int.Cl. H01L 21/3065
C23F 4/00

(21)Application number : 05-254255 (71)Applicant : HITACHI LTD
HITACHI TOKYO
ELECTRON CO LTD
TOKYO ELECTRON
YAMANASHI KK

(22)Date of filing : 12.10.1993 (72)Inventor : TOMITA KAZUISHI
ITO GIICHI
HIRANO MOTOHIRO
NOZAWA HIKARI
MATSUO HIROMITSU
IIMURO SHUNICHI
TOZAWA SHIGEKI
MIURA YUTAKA

(30)Priority

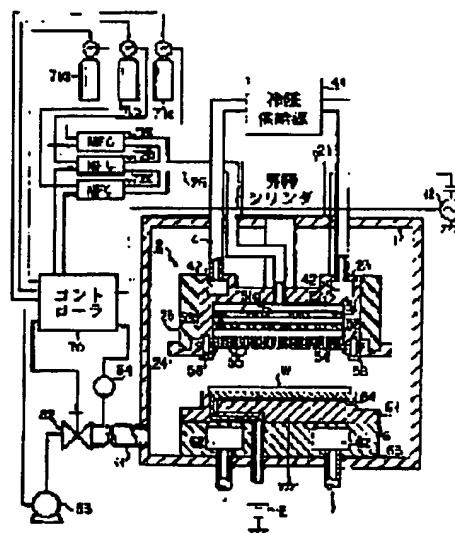
Priority number : 04306121 Priority date : 19.10.1992 Priority country : JP

(54) PLASMA ETCHING SYSTEM AND METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To suppress plasma polymerization reaction in a thin hole and prevent polymer from being adhered to the peripheral wall of the thin hole by controlling a gas supply means in a plasma etching system and speeding up the flow rate of gas through the thin hole of a shower electrode.

CONSTITUTION: A wafer W is carried into a treatment chamber 1 and is sucked and retained on a chuck electrode 61. Ar gas, CF₄ gas, and CHF₃ gas are introduced into the treatment chamber 1 via the shower electrode 3 and at the same time the inside of the treatment chamber 1 is evacuated. Then, a high-frequency power is applied between a cathode plate 54 and the chuck



electrode 61, thus generating discharge plasma, allowing gas plasma to react with the wafer W, and hence etching a wafer surface. In this case, since the flow rate of gas passing through a thin hole 55 is set to 100Km/hour or faster, gas is supplied to the thin hole 55 so that a mass flow rate is equal to or higher than 620Kg/m²/hour, thus preventing polymer from being adhered to the gas emission hole of the shower electrode 3 for a long-term continuous use.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-7001

(43) 公開日 平成7年(1995)1月10日

| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|------|-----------|-----------------|--------|
| H 0 1 L 21/3065 | | | | |
| C 2 3 F 4/00 | | A 8414-4K | | |
| | | | H 0 1 L 21/ 302 | C |

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平5-254255

(22) 出願日 平成5年(1993)10月12日

(31) 優先権主張番号 特願平4-306121

(32) 優先日 平4(1992)10月19日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 000233505

日立東京エレクトロニクス株式会社

東京都青梅市藤橋3丁目3番地の2

(71) 出願人 000109565

東京エレクトロン山梨株式会社

山梨県韭崎市藤井町北下条2381番地の1

(72) 発明者 富田 一石

山梨県中巨摩郡竜王町西八幡(番地なし)

株式会社日立製作所甲府工場内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

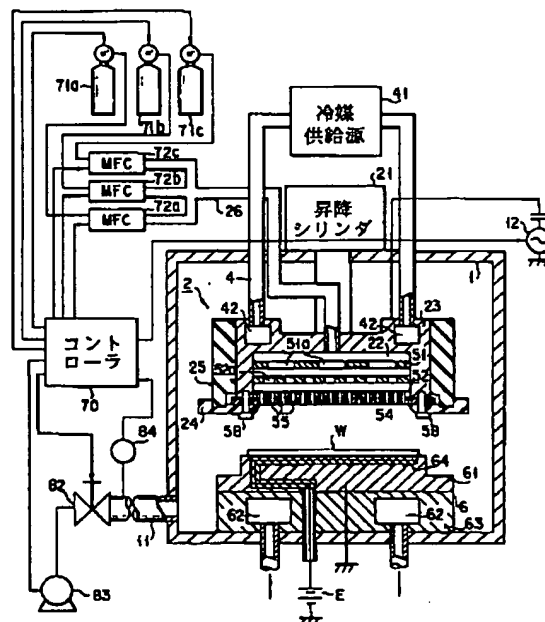
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマエッチングシステム及びプラズマエッチング方法

(57) 【要約】

【目的】 長時間の使用においてもシャワー電極のガス噴出孔にポリマーが付着しないプラズマエッチングシステム及びプラズマエッチング方法を提供する。

【構成】 プラズマを閉じ込める容器と、この容器内を排気する手段と、基板を保持するチャック電極と、このチャック電極に向き合う多数の細孔を有するシャワー電極と、このシャワー電極および前記チャック電極の間にプラズマ電圧を印加する電源と、前記シャワー電極の細孔に連通し、細孔を介して前記容器内にプラズマ生成用のガスを供給する手段と、前記細孔を通過する前記ガスが質量流量で 620 kg/m^2 /時間以上となるように前記ガス供給手段を制御する手段とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマを閉じ込める容器と、この容器内を排気する手段と、基板を保持するチャック電極と、このチャック電極に向き合う多数の細孔を有するシャワー電極と、このシャワー電極および前記チャック電極の間にプラズマ電圧を印加する電源と、前記シャワー電極の細孔に連通し、細孔を介して前記容器内にプラズマ生成用のガスを供給する手段と、前記細孔を通過する前記ガスが質量流量で 620 kg/m^2 /時間以上となるように前記ガス供給手段を制御する手段と、を有することを特徴とするプラズマエッチングシステム。

【請求項2】 細孔からガスが噴出する領域が、シャワー電極の中心から 180 mm 以上の範囲に及ぶことを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチングシステム。

【請求項3】 細孔からガスが噴出する領域が、シャワー電極の中心から 180 mm までの範囲内で 120 mm 以上の範囲に及ぶことを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチングシステム。

【請求項4】 6 mm 以上のピッチ間隔で細孔が形成されたシャワー電極を有することを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチングシステム。

【請求項5】 0.8 mm 未満のガス噴出口径をもつ細孔が形成されたシャワー電極を有することを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチングシステム。

【請求項6】 細孔の開口総面積が 100 乃至 120 mm^2 の範囲にあることを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチングシステム。

【請求項7】 冷媒で冷却される冷却部材がシャワー電極に取り付けられていることを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチングシステム。

【請求項8】 シャワー電極は円盤形状であり、細孔が等間隔ピッチの格子状配列となるようにシャワー電極に形成されていることを特徴とする請求項1記載のプラズマエッチングシステム。

【請求項9】 シャワー電極は円盤形状であり、細孔が等間隔ピッチの同心円配列となるようにシャワー電極に形成されていることを特徴とするプラズマエッチングシステム。

【請求項10】 基板を容器内のチャック電極で保持し、容器内が減圧状態となるように容器内を排気し、シャワー電極の細孔を通過するときに質量流量で 620 kg/m^2 /時間以上となるようにプラズマ生成用ガスを容器内に導入し、シャワー電極およびチャック電極の間に電圧を印加し、両電極間にプラズマを生成し、生成プラズマを基板に作用させることを特徴とするプラズマエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体ウエハ等の基板をプラズマエッチングするプラズマエッチングシステム

及びプラズマエッチング方法に係り、とくに平行平板電極型エッチャーの上部電極として用いられるシャワー電極の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体ウエハのエッチング処理用として、例えば対面する一対の電極を有する平行平板電極型プラズマエッチング装置がある。平行平板電極型エッチング装置では、下部電極上にウエハを載置し、ウエハに向けて上部電極の多数のガス噴出孔からプラズマ生成用ガス（例えばハロゲンガスやフロンガス等）を噴出させる。そして、上部電極と下部電極間に高周波電圧を印加してガスをプラズマ化し、このプラズマによってウエハをエッチングする。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら従来の上部電極（シャワー電極）は、ただ単にプラズマを均一に発生させることのみを主眼として設計されたものであり、ウエハを最適にエッチングするためにガス流速、ガス噴出孔のピッチ、ガス噴出孔の径などを十分に考慮したものとはいえない。

【0004】 近時、半導体デバイスのパターンは増々微細化する傾向にあり、このような超微細加工として高アスペクト比の異方性エッチングが利用される。ところで高アスペクト比の異方性エッチングを実現するには、プロセスチャンバの内圧を低くする必要がある。このため、処理ガスがプラズマ重合し、C、O、Fを含むポリマーが上部電極のガス噴出孔の周壁に付着する。このような付着ポリマーはプラズマ放電時間が長くなるに従って次第に成長し、数十 μm の厚さをもつ異物にまで発達する。最後には、ポリマー塊は上部電極からウエハ上へ落下し、これがコンタミネーションとなって半導体デバイスの歩留が低下する。

【0005】 また、このような高アスペクト比の異方性エッチングと通常のエッチングとにおいて同じシャワー電極を共用することができず、それぞれの用途に合わせて専用のシャワー電極を準備しなければならない。

【0006】 本発明は上記課題を解決するためになされたものであって、長時間にわたり安定して連続使用することができるプラズマエッチングシステム及びプラズマエッチング方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明に係るプラズマエッチングシステムは、プラズマを閉じ込める容器と、この容器内を排気する手段と、基板を保持するチャック電極と、このチャック電極に向き合う多数の細孔を有するシャワー電極と、このシャワー電極および前記チャック電極の間にプラズマ電圧を印加する電源と、前記シャワー電極の細孔に連通し、細孔を介して前記容器内にプラズマ生成用のガスを供給する手段と、前記細孔を通過する前記ガスが質量流量で 620 kg/m^2 /時間以上と

3

なるように前記ガス供給手段を制御する手段と、を有することを特徴とする。

【0008】また、本発明に係るプラズマエッチング方法は、基板を容器内のチャック電極で保持し、容器内が減圧状態となるように容器内を排気し、シャワー電極の細孔を通過するときに質量流量で $620\text{ kg/m}^2/\text{時間}$ 以上となるようにプラズマ生成用ガスを容器内に導入し、シャワー電極およびチャック電極の間に電圧を印加し、両電極間にプラズマを生成し、生成プラズマを基板に作用させることを特徴とする。

【0009】本発明のプラズマエッチングシステムでは、ガス供給手段を制御してシャワー電極の細孔を通過するときのガスの流速を高速にする。とくに、細孔のピッチを 6 mm 以上、及び/または細孔の径を 0.8 mm 未満とすると、質量流量で $620\text{ kg/m}^2/\text{時間}$ 以上のガスをシャワー電極に供給しやすくなる。ここで「質量流量 (mass flow rate)」とは管路を通過して単位時間に流れる流体の質量をいう。

【0010】

【作用】細孔内におけるプラズマ重合反応はガス流速の影響を大きく受ける。細孔のピッチが狭い場合や細孔の径が大きい場合はガス流速が遅くなるため、細孔内の弱电プラズマが重合し、ポリマーが細孔の周壁にデポジションする。そこで、質量流量で $620\text{ kg/m}^2/\text{時間}$ 以上のガスをシャワー電極に供給する。このようなガス供給システムでは細孔におけるプラズマ重合反応が抑制され、ポリマーが細孔の周壁に付着しにくくなる。万一、ポリマーが生成されたとしても、高流速のガス流によってポリマーは吹き飛ばされ、大きな塊になるまで成長発達しなくなる。

【0011】

【実施例】以下、添付の図面を参照しながら本発明の種々の実施例について説明する。図1は本発明の実施例に係るプラズマエッチングシステムを示す全体概要図である。処理室1はアルミニウム壁で構成され、内部は気密に保持されている。処理室1の上部には電極ユニット2が設けられている。電極ユニット2は昇降シリンダ21のロッドにより上下動可能に支持されている。

【0012】電極ユニット2にはシールドリング25が外装され、シールドリング25内には冷却ブロック23が収納されている。シールドリング25は絶縁体でつくられている。冷却ブロック23には内部通路42が形成されており、冷却装置41から内部通路42に冷媒が通流されるようになっている。

【0013】さらに冷却ブロック23の凹所内にはパッフル板51、52が設けられている。冷却ブロック23の下端部にはシャワー電極3がビス58で着脱可能に取り付けられている。シャワー電極3の周縁部は絶縁リング24によって冷却ブロック23のほうに押さえ付けられている。

4

【0014】シャワー電極3はカソード板54および冷却板53を組み合わせてなり、板53、54は互いに接着されている。カソード板54はアモルファスカーボン製であり、冷却板53はアルミニウム製又はアルミニウム合金製である。シャワー電極3は周波数 400 KHz 、電力値 1300 W の高周波電源12に電気的に接続され、一方チャック電極61はアースされている。これによりシャワー電極3と下方のチャック電極61とでプラズマ生成回路が形成される。

10 【0015】第2パッフル板52はシャワー電極3の直上に位置し、第1パッフル板51は第2パッフル板52の直上に位置し、管26のガス供給口は第1パッフル板51の直上に位置している。シャワー電極3、第1及び第2のパッフル板51、52は実質的に水平に、かつ互いに平行に設けられている。第1パッフル板51及び冷却ブロック23によってガス導入室22が形成されている。第1及び第2のパッフル板51、52およびシャワー電極3には通気孔51a、52a、55がそれぞれ形成されている。通気孔51a、52a、55の径はこの順に大きい。シャワー電極3のカソード板54背面には冷却板53が密着しており、この冷却板53が約 20°C に維持されることによりカソード板54が冷却されるようになっている。なお、冷却ブロック23、第1及び第2のパッフル板51、52はアルミニウム製又はアルミニウム合金製である。

20 【0016】ガス導入室22の上部中央にはガス供給管26の一端開口が連通している。ガス供給管26の基端側は3つに分岐し、各分岐管はマスフローコントローラ(MFC)72a、72b、72cをそれぞれ経由してガス供給源71a、71b、71cにそれぞれ連通している。ガス供給源71aにはArガスが収容され、ガス供給源71bには CF_4 ガスが収容され、ガス供給源71cには CHF_3 ガスが収容されている。各ガス供給源71a、71b、71cは圧力調整弁を備えており、圧力調整弁の可動部電源はコントローラ70の出力部に接続されている。また、MFC72a、72b、72cの可動部電源もコントローラ70の出力部に接続されている。MFC72a、72b、72cは、コントローラ70によってガス供給源71a、71b、71cとは別個独立に制御されるようになっている。すなわち各ガス供給源71a、71b、71cは圧力一定制御がなされるが、各MFC72a、72b、72cにおいては流量一定制御がなされる。

30 【0017】処理室1の下部にはチャック電極61を有するウエハ保持台6が設けられ、ウエハWがチャック電極61の上に載置されるようになっている。チャック電極61は、外部の直流電源Eから直流電力が供給される静電チャック64を内蔵している。チャック電極61はアルミニウム製又はアルミニウム合金製である。なお、
50 シャワー電極3はチャック電極61との相互間隔が約1

5

cmになるような高さ位置に配置されている。チャック電極61の下面は冷却ブロック63と密着している。冷却ブロック63は内部通路62をもち、内部通路62に冷媒供給源(図示せず)から冷媒が供給されるようになっている。

【0018】処理室1の下方側壁部には排気管11が接続されている。排気管11は真空ポンプ83の吸引口に連通している。排気管11の途中にはバルブ82及び圧力センサ84が取り付けられている。圧力センサ84はコントローラ70の入力部に接続され、検出圧力に基づきバルブ82および真空ポンプ83の両者が動作制御されるようになっている。

【0019】図2に示すように、シャワー電極3のカソード板54は厚さ4mmの円板からなり、冷却板53でバックアップされた領域には多数の細孔55が形成されている。図3に示すように、細孔55は等ピッチ間隔Pをもって格子状に配列されている。細孔55は、直径dが0.6mmであり、ピッチ間隔Pが7mmである。8インチウエハ用のカソード板54は直径が285mmであり、この場合に細孔55が存在するガス噴出領域の直径を180mm以上とすることが好ましい。また、6インチウエハ用のカソード板54は直径が200mmであり、この場合に細孔55が存在するガス噴出領域の直径を120mm以上とすることが好ましい。なお、図5および図6に示すように、シャワー電極3を等ピッチ間隔Pをもって放射状に配列してもよい。

【0020】図4に示すように、カソード板側の細孔55bは冷却板側の細孔55aよりも直径が小さい。このため、細孔55a、55bを通過するガス流速が小さいと、段差56のところにポリマーがデポジットし、ガスがカソード板側の細孔55bに流れにくくなるおそれがある。

【0021】次に、シリコンウエハWをプラズマエッチングする場合について説明する。ウエハWを処理室1に搬入し、チャック電極61上に吸着保持する。Arガス、CF₄ガス、CHF₃ガスをシャワー電極3を介して処理室1内に導入するとともに、処理室1内を排気して内圧を0.5 Torr以下の圧力にする。次いで、カソード板54とチャック電極61の間に400 KHz、電力値1300Wの高周波電圧を印加する。これにより放電プラズマを発生させ、ガスプラズマがウエハWに反応し、その結果ウエハ表面がエッチングされる。

【0022】その際、従来のようにガス流速が100 Km/時間以下と遅いと、細孔55のなかで処理ガスがプラズマ重合し、ポリマーとして細孔55の周壁に付着する。これに対して本実施例では細孔55を通過するガスの流速を100 Km/時間以上とするために、質量流量で620 kg/m²/時間以上となるようにガスを細孔55に供給する。

【0023】図7は横軸にプラズマ放電時間を取り、縦

6

軸に1枚のウエハに付着した放電異物(ポリマー)の個数をとってウエハ汚染について調べた結果を示す特性図である。ウエハ付着ポリマーの個数が45個を超えると不合格とした。図から明らかなように、本実施例によればウエハ付着ポリマーの個数は少なく、合格と判定した。

【0024】またこのようにガス流速を高速にすると、プラズマが均一に発生し、放電安定領域が0.15 Torrから3.0 Torrまで広がる。その結果アスペクト比が高いエッチングから低いエッチングまで実現可能となる。

【0025】図8は高アスペクト比のエッチングされたウエハの断面図である。ウエハ中央部においても周縁部においても均一にエッチングされている。次に、ウエハ直上のガス速度分布についてコンピュータシミュレーションを用いて検討してみる。ここでは問題を簡単にするために、図9および図15に示すように、ガスはシャワーヘッド全面から均一に供給されるものと仮定する。下記の条件でシミュレーションした。

【シミュレーション条件】

モデル形状

カソードプレート細孔直径(mm) $d = 0.6, 0.8$

シャワー電極のガス噴射領域の直径 $\phi = 2r_0$
(シャワー直径(mm)) $= 160, 180, 210$

プロセス条件

ガス組成 : CF₄ 30 (SCCM)

: CHF₃ 30 (SCCM)

: Ar 600 (SCCM)

ガス物性 : 上記3種ガスを混合した混合ガスの平均物性値を温度の3次式で近似して求めた
ガス流動状態 : 圧縮流(ただし、反応容器の内圧に応じて密度が変化することを考慮する。

【0026】

圧力 : ウエハ上面の中央部を基準点圧力P_sとすると、

P_s = 0.6 (Torr)

基準点とガス導入口の差圧ΔPとすると、

ΔP = 10.9 (Torr)

温度 : ガス流量計算の場合は、計算領域内で一定温度T = 100℃となる。

【0027】: 反応計算の場合は、ウエハ上で一定温度T_s = 60℃

シャワーヘッドで一定温度T₀ = 250℃となる。

【0028】シャワー直径(電極におけるガス噴出領域の直径)を160mm, 180mm, 210mmと種々変えたときの反応容器内のガス流動状態をコンピュータシミュレーションにより求め、ウエハ近傍の速度分布とエッチング特性との関係を考察する。ここでは問題を単純化す

るために、原料ガスの消費と副生成ガスの発生による流動状態の変化は無視する。

【0029】図10乃至図12は、シャワー直径を160mm、180mm、210mmと種々変えてガス流動状態についてそれぞれ調べた結果を示すガス流速分布図である。この場合に、8インチ径シリコンウェハに対して細孔直径0.6mmのシャワー電極を用いて調べた。これらの図から明らかなように、パッフル51からシャワーヘッド3上に到達する間に、ガスは水平方向に分散するが、ガス流速のばらつきは大きい。このことはパッフル51、52はガスを分散させる機能は有するが、流速を整えて均一化する機能はもたないことを意味している。一方、シャワーヘッド3とウェハWの間では中央部から周縁部に向かってほぼ一様にガス流速が増加している。このことはシャワーヘッド3がガス流速を均一化する機能を有することを意味している。

【0030】なお、図9に示す最上部のパッフル50は導入ガスの圧力を調整するための部材である。図中にて距離 L_1 は16mm、距離 L_2 は16.5mm、距離 L_3 は24mm(=20mm+4mm)、距離 L_4 は10mm、半径 r_0 は110.5mm、半径 r_1 は160mm(または180mmまたは210mm)である。

【0031】図10から明らかなように、シャワー直径が160mmの場合はウェハ中央部から周縁部に向かって急速にガス流速が大きくなる。また、ガス流速の最大値も三者のなかで最も大きい。これに対して図11および図12から明らかなように、シャワー直径が180mmおよび210mmの場合はウェハ中央部から周縁部に向かってガス流速はほぼ一定であり、変動が小さい。

【0032】次に、図13および図14を参照してガス速度の分布特性について説明する。図13は横軸にウェハ中心からの距離 r (mm)をとり、縦軸にガス速度 v (m/秒)をとって、細孔直径0.6mmのシャワー電極について調べた結果を示す。図14は横軸にウェハ中心からの距離 r (mm)をとり、縦軸にガス速度 v (m/秒)をとって、細孔直径0.8mmのシャワー電極について調べた結果を示す。図中、黒丸はシャワー直径が160mmの結果を、白丸はシャワー直径が180mmの結果を、黒三角はシャワー直径が210mmの結果を、それぞれ示す。

【0033】両図から明らかなように、ウェハ直上のガス速度分布は細孔直径 d に依存しない。また、ガス速度はウェハ中心から直線的に増大し、ウェハ周縁部で最大となる。シャワー直径が160mmの場合は距離 r が80mmの位置でガス速度の最大値1.32m/秒が得られた。シャワー直径が180mmの場合は距離 r が95mmの位置でガス速度の最大値1.10m/秒が得られた。シャワー直径が210mmの場合は距離 r が105mmの位置でガス速度の最大値0.98m/秒が得られた。

【0034】次に、ウェハ直上におけるガス速度の分布

について検討してみる。図13および図14に示したように、ウェハ半径方向のガス速度はウェハ周縁部の近傍で最大値となる分布であった。この理由について考察する。

【0035】ここでは問題を単純化するために、図15に示すモデルにおいてガスはシャワーヘッド全面から均一に供給されるものとする。距離 r (ウェハ中心からの距離)がシャワーガス噴射領域の半径 r_0 より小さい場合($r \leq r_0$)と、距離 r が直径 r_0 より大きい場合($r > r_0$)とに場合分けしてそれぞれ説明する。

(a) $r \leq r_0$ の場合

この領域(シャワーガスが噴射される領域)では、シャワーヘッド単位面積あたりのガス流量 f は下式(1)で与えられる。ただし、 r_0 はシャワー電極におけるガス噴射領域の直径を示し、 V_0 は導入ガス流量を示す。

【0036】

$$f = V_0 / \pi r_0^2 \quad \dots (1)$$

距離 r の位置におけるガス流量 F は下式(2)で与えられる。

$$F = \pi r^2 f = (r^2 V_0) / (r_0^2) \quad \dots (2)$$

流量 F のガスが通過する流路の断面積 S は下式(3)で与えられる。ただし、 L_s はガス噴出口からウェハ上面までの距離である。

【0037】

$$S = 2\pi r L_s \quad \dots (3)$$

よって、ガス速度 v は下式(4)で与えられる。

$$v = F / S = (V_0 / 2\pi L_s r_0^2) \cdot r \quad \dots (4)$$

これから明らかなようにガス速度 v は距離 r に比例して大きくなる。また、ガス速度 v は r_0^2 に反比例するので、シャワー半径 r_0 が小さくなればなるほどガス速度 v は大幅に大きくなる。

(b) $r > r_0$ の場合

この領域(シャワーガスの噴射領域を外れた領域)では、中心から半径 r_0 の範囲内のみにガスが供給されるので、ガス流量 F は下式(5)に示すように V_0 に等しくなる。

【0038】

$$F = V_0 \quad \dots (5)$$

そこで、ガス速度 v は下式(6)によって求められる。

$$v = F / S = (V_0 / 2\pi L_s) \cdot (1/r) \quad \dots (6)$$

これから明らかなように、ガス速度 v は、半径 r が大きくなるほど小さくなり、また r_0 に依存しない。

【0039】表1にガス速度とエッチレートとの関係につき実験で調べた結果を示す。なお、各ガス速度およびエッチレートはウェハ中心から90mm離れたところで測定した。この表から明らかなように、シャワー直径 $2r_0$ が大きくなるほど、ガス速度が小さくなるほどエッチ

9

レートは低下する。これは、ガス速度が小さいほどエッチング反応により生じた副生成ガスが排出されにくく、*

表1

| 2r ₀ (mm) | ガス速度 (m/秒) | エッチレート (Å/分) |
|-------------------------|---------------|-----------------|
| 160 | 1.150 | 5024 |
| 180 | 1.033 | 5023 |
| 210 | 0.7605 | 4770 |

表2および表3にガス濃度とコンタクトホール形状との関係につき実験で調べた結果をそれぞれ示す。表2はウェハ中心から10mm離れたところで測定した結果を示し、表3はウェハ中心から90mm離れたところで測定した結果を示す。ここで、「テーパ角度」とは図8に示すコンタクトホール94の周壁の傾き角度をいう。

【0041】いずれの位置においてもシャワー直径2r₀が大きくなるほど、ガス速度が小さくなるほどテーパ角度が小さくなる。これは、ガス速度が小さいほどエッチング反応により生じた副生成ガスが排出されにくく、ウェハ表面近傍に滞留することに起因している。

【0042】

表2

| 2r ₀ (mm) | ガス速度 (m/秒) | テーパ角度 (°) |
|-------------------------|---------------|--------------|
| 160 | 0.1660 | 88.0 |
| 180 | 0.1160 | 86.8 |
| 210 | 0.8696 | 85.8 |

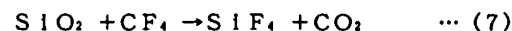
表3

| 2r ₀ (mm) | ガス速度 (m/秒) | テーパ角度 (°) |
|-------------------------|---------------|--------------|
| 160 | 1.150 | 87.6 |
| 180 | 1.033 | 87.0 |
| 210 | 0.7605 | 86.0 |

次に、エッチング反応についてコンピュータシミュレーションを用いて検討した結果について説明する。

【0043】図16乃至図18のそれぞれは、反応シミュレーションによりモデル化したプラズマ生成領域におけるSiF₄ガス濃度分布を示すシミュレーションモデル図である。図中、ウェハ端部は符号WEのところに位置し、ウェハ上方からガスが供給され、右方向に排気されている。

【0044】プラズマ生成領域では下式(7)に示す反応が進行し、副生成ガスとしてSiF₄が生じる。



ウェハ近傍では原料ガスだけでなく副生成ガスも反応に関与している。エッチレートはCF₄ガス濃度およびS

*ウェハ表面近傍に滞留することに起因している。

【0040】

エッチレート
(Å/分)

iF₄ガス濃度に支配される。一方、コンタクトホール形状はCHF₃ガス濃度およびSiF₄ガス濃度に支配される。従って、原料ガスであるCF₄およびCHF₃のみならず副生成ガスであるSiF₄の濃度分布を知る必要がある。

【0045】図19および図20にそれぞれ示すように、ウェハ直上の原料ガスおよび副生成ガスの濃度はウェハ中央付近では均一であり、ウェハエッジ付近で変化するようなガス濃度分布となった。

【0046】表4にシャワー直径2r₀とCF₄濃度分布との関係について調べた結果を示す。表中にて括弧書きした%数値は、ガス供給側における初期濃度値4.5454×10⁻²(mol/mol)に対するウェハ直上のCF₄濃度の低下率を表わしたものである。なお、ガス濃度はウェハ直上の位置で調べた。

【0047】シャワー直径2r₀が160mmの場合は、ウェハ直上の濃度と初期濃度との差は3.6%である。また、ウェハ面内におけるCF₄濃度差は1%にすぎない。シャワー直径2r₀が180mmの場合は、ウェハ直上の濃度と初期濃度との差は3.6%である。また、ウェハ面内におけるCF₄濃度差は僅かに0.1%にすぎない。

【0048】シャワー直径2r₀が210mmの場合は、ウェハ直上の濃度と初期濃度との差は4.6%である。この濃度差は前二者に比べて大きく、無視できない数値である。一方、ウェハ面内におけるCF₄濃度差は僅かに0.2%にすぎない。

【0049】シャワー直径160mm(ガス供給速度10.6m/秒)の場合がガス濃度は最大になり、シャワー直径210mm(ガス供給速度5.70m/秒)の場合がガス濃度は最小になる。しかし、両者の濃度差は1.5%にすぎない。また、ウェハ面内におけるCF₄濃度差も1%未満にすぎない。よって、シャワー直径の相違によるウェハ面上のCF₄ガス(原料ガス)濃度の差は小さいといえる。

【0050】

表4

| 2r ₀ (mm) | CF ₄ 濃度(mol/mol) | |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | ウェハ中心部 | ウェハ周縁部 |
| 160 | 4.4211×10 ⁻² (2.8%) | 4.3744×10 ⁻² (3.8%) |

| 11 | | 12 |
|-----|---------------------------------|---------------------------------|
| 180 | 4.3818×10^{-3} (3.6 %) | 4.3755×10^{-3} (3.7 %) |
| 210 | 4.3386×10^{-3} (4.6 %) | 4.3471×10^{-3} (4.4 %) |

表5にシャワー直径 $2r_0$ と SiF_4 濃度分布との関係について調べた結果を示す。なお、ガス濃度はウェハ直上の位置で調べた。

【0051】シャワー直径 $2r_0$ が160mmの場合は、ウェハ中心部より周縁部のほうが SiF_4 濃度が高い。ウェハ中心部と中間部との SiF_4 濃度差が1%であるのに対して、ウェハ中心部と周縁部との濃度差は36%にもおよぶ。ウェハ面内における SiF_4 濃度差は特に

【0052】シャワー直径 $2r_0$ が180mmの場合は、ウェハ中心部と中間部との濃度差は1%であり、ウェハ中心部と周縁部との濃度差は3%である。ウェハ面内に*

*おける SiF_4 濃度差は小さいといえる。

【0053】シャワー直径 $2r_0$ が210mmの場合は、ウェハ中心部と中間部との濃度差は1%であり、ウェハ中心部と周縁部との濃度差は3.2%である。ウェハ面内における SiF_4 濃度差は小さいといえる。

【0054】160mmのシャワー直径 $2r_0$ の場合と210mmのシャワー直径 $2r_0$ の場合とを比べてみると、ウェハ中心部で後者のほうが前者よりも約40%も高い。また、ウェハ面内濃度差については前者のほうが後者よりも大幅に大きい。

【0055】

表5

| $2r_0$ (mm) | SiF_4 濃度 (mol/mol) | | |
|----------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | ウェハ中心部 | ウェハ中間部 | ウェハ周縁部 |
| 160 | 1.4168×10^{-3} | 1.4299×10^{-3} | 1.9257×10^{-3} |
| 180 | 1.8512×10^{-3} | 1.8700×10^{-3} | 1.9145×10^{-3} |
| 210 | 2.3299×10^{-3} | 2.3583×10^{-3} | 2.2573×10^{-3} |

このような知見に基づき SiF_4 ガス濃度分布について考察してみる。ここでも問題を簡単にするために、図15に示すようにガスはシャワーヘッド全面から均一に供給されるものと仮定する。ウェハ単位面積あたりの SiF_4 発生量を b とすると、ウェハ中心から距離 r だけ離れたところでの SiF_4 総量 B は下式(8)で与えられる。

$$B = \pi r^2 \cdot b \quad \dots (8)$$

以下、シャワー電極におけるガス噴射領域の半径(シャワー半径) r_0 およびウェハ半径 r_s と、ウェハ中心からの任意距離 r との大小により場合分けして説明する。

(c) $r \leq r_0$ の場合

この領域(シャワーガスの噴射領域)では、 SiF_4 の濃度 C は下式(9)で与えられる。なお、原料ガス流量 F は上式(2)で与えられる。

$$\begin{aligned} C &= B/F \\ &= (\pi b / V_0) r_0^2 \quad \dots (9) \end{aligned}$$

この領域内では濃度 C は半径 r_0 が大きくなるほど高く※40

$$\begin{aligned} C &= B/F \\ &= (\pi r_s^2 r_0^2 b / V_0) \cdot (1/r^2) \quad \dots (12) \end{aligned}$$

この領域では濃度 C は、半径 r_0 が大きくなるほど高くなり、距離 r が大きくなるほど低くなる。

【0061】表6にガス濃度とエッチレートとの関係につき実験で調べた結果を示す。なお、各ガス濃度およびエッチレートはウェハ中心から90mm離れたところで測定した。この表から明らかなように、シャワー直径 $2r_0$ が210mmのときのエッチレートは $2r_0$ が160mmのときのそれよりも5% ($4770/5024=0.95$) 増えてい

※なる。

(d) $r_0 \leq r \leq r_s$ の場合

この領域では原料ガス流量 F は上式(5)で与えられる。一方、シャワーガスがウェハに向かって噴射される領域であるので、 SiF_4 は生成される。よって SiF_4 の濃度 C は下式(10)で与えられる。

$$\begin{aligned} C &= B/F \\ &= (\pi b / V_0) r^2 \quad \dots (10) \end{aligned}$$

この領域内では濃度 C は、半径 r_0 に依存せず、半径 r が大きくなるほど高くなる。

(e) $r_s \leq r$ の場合

この領域(ウェハから遠く離れた領域)では、 SiF_4 総量 B は下式(11)で与えられる。

$$\begin{aligned} B &= \pi r_s^2 \cdot b \\ C &= B/F \quad \dots (11) \end{aligned}$$

よって SiF_4 の濃度 C は下式(12)で与えられる。なお、原料ガス流量 F は上式(2)で与えられる。

【0060】

る。両者は CF_4 モル分率がほとんど同じであるから SiF_4 モル分率の差異がエッチレートの差異となっており、このことからエッチレートは副生成ガスである SiF_4 の濃度に強く依存することが明らかである。

【0062】 SiF_4 がシリコンウェハ表面に吸着すると仮定した場合に、 SiF_4 の濃度が高いほどウェハ表面への吸着量が增大してエッチング反応が阻害される。

この場合の反応速度式としてラングミュアの吸着等温式を採用することが望ましい。また、シャワー直径2r₀ *

*が大きくなるほどエッチングの均一性が向上する。
【0063】

表6

| 2r ₀ (mm) | CF ₄ モル分率 | S i F ₄ モル分率 | エッチレート (Å/min) |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| 160 | 4.384×10^{-2} | 1.814×10^{-3} | 5024 (6.9 %) |
| 180 | 4.379×10^{-2} | 1.873×10^{-3} | 5023 (6.4 %) |
| 210 | 4.343×10^{-2} | 2.294×10^{-3} | 4770 (5.2 %) |

表7および表8にガス濃度とコンタクトホール形状との関係につき実験で調べた結果をそれぞれ示す。表7はウェハ中心から10mm離れたところで測定した結果を示し、表8はウェハ中心から90mm離れたところで測定した結果を示す。ここで、「テーパ角度」とは図8に示すコンタクトホール94の周壁の傾き角度をいう。

※【0064】いずれの位置においてもシャワー直径2r₀ *が大きくなるほど、CF₄ 濃度が低くなるほどテーパ角度は小さくなる。一方、S i F₄ 濃度が低くなるほどテーパ角度は大きくなる。
【0065】

表7

| 2r ₀ (mm) | CF ₄ モル分率 | S i F ₄ モル分率 | テーパ角度 (°) |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------|
| 160 | 4.421×10^{-2} | 1.417×10^{-3} | 88.0 |
| 180 | 4.382×10^{-2} | 1.851×10^{-3} | 86.8 |
| 210 | 4.339×10^{-2} | 2.330×10^{-3} | 85.8 |

表8

| 2r ₀ (mm) | CF ₄ モル分率 | S i F ₄ モル分率 | テーパ角度 (°) |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------|
| 160 | 4.384×10^{-2} | 1.814×10^{-3} | 87.6 |
| 180 | 4.379×10^{-2} | 1.873×10^{-3} | 87.0 |
| 210 | 4.343×10^{-2} | 2.294×10^{-3} | 86.0 |

なお、上記実施例では、高周波印加法はプラズマエッチング(P E)モードを採用しているが、パワースプリットモードまたは反応性イオンエッチング(R I E)モードを採用しても良い。

【0066】

【発明の効果】本発明のプラズマエッチングシステムによれば、シャワー電極のガス噴出孔にポリマーが付着せず、長時間にわたり連続して安定に使用することができる。このため、ウェハが生成ポリマーによって汚染されなくなり、半導体デバイスの歩留まりが飛躍的に向上する。

【0067】また、シャワー電極の細孔を通過するガスの流速を高速にするので、高アスペクト比から低アスペクト比までの広範囲のエッチングを実現することができる。さらに、シャワー電極の細孔を通過するガスの流速を高速にしたことによりプラズマの均一性が良くなり、プラズマ放電の安定領域が0.15~3.0T o r rまで広がり、高アスペクト比(アスペクト比3まで)のエッチングも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係るプラズマエッチングシステムの全体概要を示す断面ブロック図。

【図2】シャワー電極を示す平面図。

【図3】シャワー電極の一部を拡大して示す部分拡大平

面図。

【図4】シャワー電極の細孔の一部を示す縦断面図。

【図5】他のシャワー電極を示す平面図。

30 【図6】他のシャワー電極の一部を拡大して示す部分拡大平面図。

【図7】本発明の効果を示す特性線図。

【図8】高アスペクト比エッチングされたウェハの一部を拡大して示す縦断面図。

【図9】上部電極ユニットを模式化して示す断面モデル図。

【図10】ガス流速分布を示すシミュレーションモデル図。

40 【図11】ガス流速分布を示すシミュレーションモデル図。

【図12】ガス流速分布を示すシミュレーションモデル図。

【図13】ウェハ直上におけるガス速度を示す特性線図。

【図14】ウェハ直上におけるガス速度を示す特性線図。

【図15】電極およびウェハ間のガスシャワーを模式的に示すモデル図。

【図16】S i F₄ ガス濃度分布を示すシミュレーションモデル図。

15

【図17】SiF₄ガス濃度分布を示すシミュレーションモデル図。

【図18】SiF₄ガス濃度分布を示すシミュレーションモデル図。

【図19】ウェハ直上におけるCF₄ガス濃度を示す特性線図。

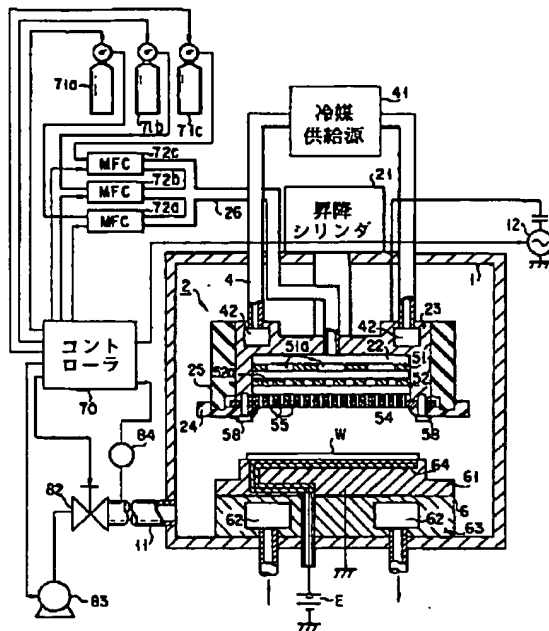
【図20】ウェハ直上におけるSiF₄ガス濃度を示す特性線図である。

16

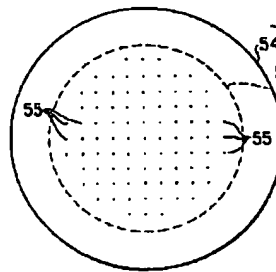
【符号の説明】

1…処理室、2…上部電極ユニット、3…シャワー電極、6…ウェハ保持台、11…排気管、12…高周波電源、51、52…パッフル板、53…冷却板、54…カソード板、55…細孔、61…チャック電極、70…コントローラ、71a、71b、71c…ガス供給源、72a、72b、72c…マスフローコントローラ

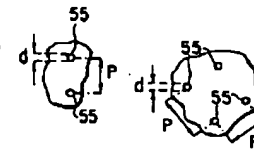
【図1】



【図2】

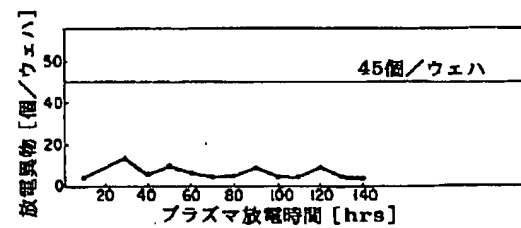


【図3】

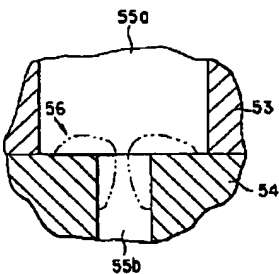


【図6】

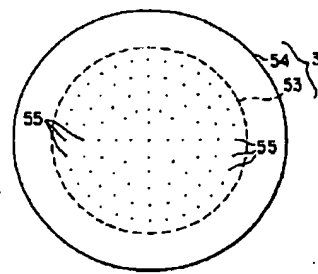
【図7】



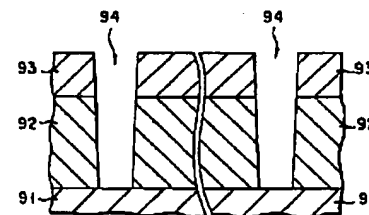
【図4】



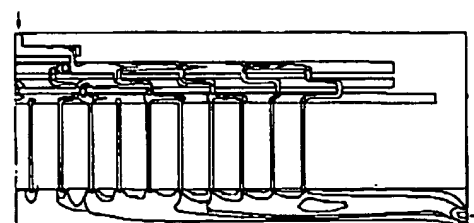
【図5】



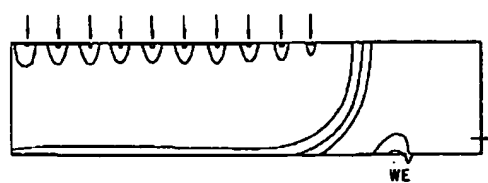
【図8】



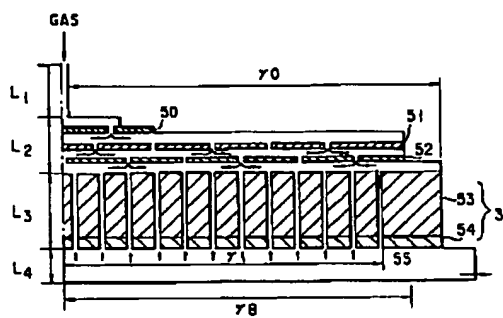
【図10】



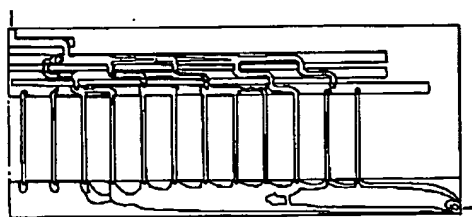
【図16】



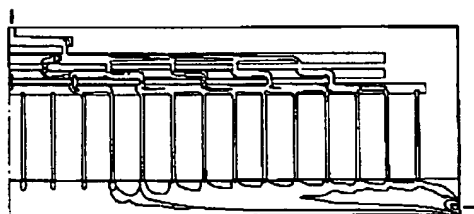
【図9】



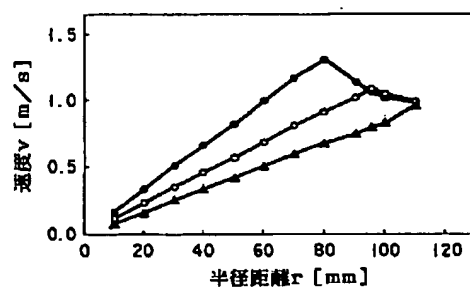
【図11】



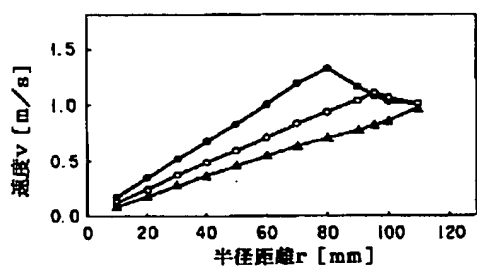
【図12】



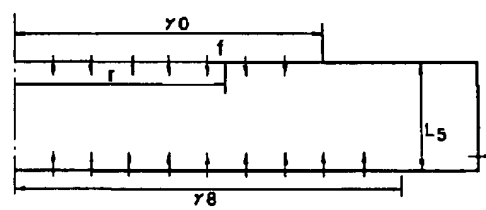
【図13】



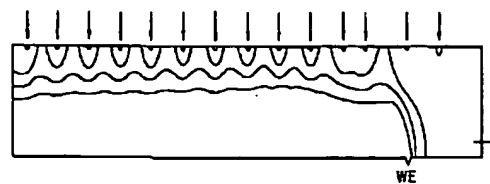
【図14】



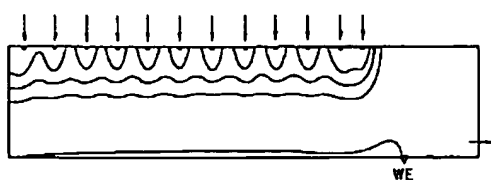
【図15】



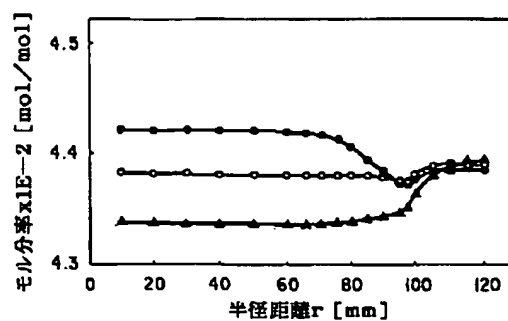
【図18】



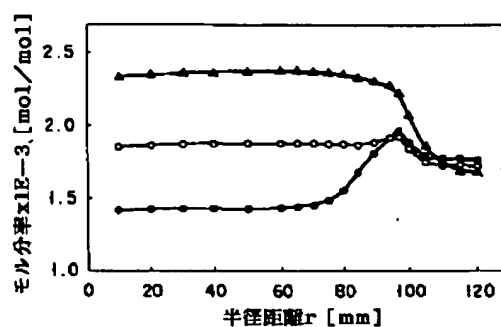
【図17】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 伊東 儀一

山梨県中巨摩郡竜王町西八幡(番地なし)
株式会社日立製作所甲府工場内

(72)発明者 平野 基博

東京都青梅市藤橋3丁目3番地2 日立東
京エレクトロニクス株式会社内

(72)発明者 野沢 光

東京都青梅市藤橋3丁目3番地2 日立東
京エレクトロニクス株式会社内

(72)発明者 松尾 浩光

東京都青梅市藤橋3丁目3番地2 日立東
京エレクトロニクス株式会社内

(72)発明者 飯室 俊一

山梨県韭崎市藤井町北下条2381番地1 東
京エレクトロン山梨株式会社内

(72)発明者 戸澤 茂樹

山梨県韭崎市藤井町北下条2381番地1 東
京エレクトロン山梨株式会社内

(72)発明者 三浦 豊

山梨県韭崎市穂坂町三ツ沢650 東京エ
レクトロン株式会社内